

**Pourquoi cette UE ?**

L'UE Matières Métalliques et Minérales a pour objectif de faire (re)découvrir au futur ingénieur les classes de matériaux pour lesquelles l'énergie de cohésion est élevée. Les différentes familles de matériaux inorganiques sont présentées : métaux et alliages, céramiques et verres, bétons, ainsi que les phases présentes à l'équilibre thermodynamique (au moyen des diagrammes de phase) et les transformations de phase qui ont lieu dans ces matériaux. A l'issue de ce module, le futur ingénieur aura une bonne connaissance et compréhension des propriétés de ces matériaux au regard de leur microstructure, leurs procédés et traitements établis pour les obtenir.

**Éléments constitutifs de l'UE**

		coefficient
ECOMAP_8_1-1 Diagrammes et transformations de phases		3
ECOMAP_8_1-2 Céramiques et verres		2
ECOMAP_8_1-3 Bétons		2
ECOMAP_8_1-4 Métaux et alliages		1
ECOMAP_8_1-5 TP Métaux et bétons		1
Volume d'heures d'enseignement encadré	Volume d'heures de travail personnel	Nombre d'ECTS
95	20	5

Alignement curriculaire

**Parmi les compétences visées par la formation, lesquelles sont développées dans cette UE ?**

FIG-BC06  
ECOMAP

BC1	L'UE ne contribue pas à ce bloc de compétences
BC1	L'UE contribue à ce bloc de compétences
C1	Compétence non adressée dans cette UE
C1	Compétence mise en œuvre dans cette UE
C1	Compétence enseignée dans cette UE
C1	Compétence évaluée dans cette UE
C1	Compétence enseignée et évaluée dans cette UE

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-1 Diagrammes et transformations de phases</b>	<b>S8</b>

Objectifs pédagogiques	Activités	Évaluations et retours faits aux élèves
(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)	(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )	(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)
<p>Être capable de lire et interpréter un diagramme de phase pour comprendre l’histoire thermodynamique d’un matériau, et choisir les paramètres pour obtenir une phase. Comprendre et être capable d’appliquer les principes de base gouvernant les transformations de phases dans les matériaux métalliques &amp; céramiques de façon à pouvoir choisir des matériaux répondant à des spécifications particulières et maîtriser des procédés de transformation pour contrôler microstructure et propriétés des matériaux.</p>	<p>Cours magistraux (20h) contenant des exercices d’application (6 h)</p>	<p>controle écrit 2h Consultation des copies sur demande expresse de l’élève</p>

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-1 Diagrammes et transformations de phases</b>	<b>S8</b>

## Plan de cours

Les diagrammes de phase et les mécanismes de transformation de phases sont décrits et expliqués afin de comprendre la structure établie lors des opérations d'élaboration et de mise en forme et les propriétés qui en découlent.

- 1- Diagrammes de phases
  - 1.1- Introduction sur les diagrammes de phases, origine thermodynamique, représentation
  - 1.2- Etude de mélanges binaires
  - 1.3- Etude de mélanges ternaires
- 2- Transformations de phases
  - 2.1- Introduction aux transformations de phases : thermodynamique et cinétique
  - 2.2- Germination - Croissance
  - 2.3- Décomposition spinodale
  - 2.4- Transformation martensitique
  - 2.5- Transition vitreuse
  - 2.6- Transformations du second ordre et phénomènes critiques

## Ressources et références

Support de cours et exercices complétant la présentation

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-2 Céramiques et verres</b>	<b>S8</b>

## Contexte et enjeux de l'enseignement

Ce cours explore les structures, microstructures, propriétés, procédés de mise en œuvre, ressources disponibles et potentiel de recyclage, des céramiques et des verres, matériaux incontournables dans l'industrie du futur, les équipements électroniques, les applications médicales... D'une part, les céramiques, grâce à leurs propriétés uniques, notamment à haute température, sont essentielles, voire incontournables, dans de nombreuses applications technologiques ; D'autre part, les verres, omniprésents depuis des siècles, restent cruciaux pour des secteurs variés et des innovations à forte valeur ajoutée. Le cours aborde toutes ces notions avec une session finale en classe inversée.

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD9 - Industrie, innovation et infrastructure ODD11 - Villes et communautés durables ODD12 - Consommation et production responsables

### Prérequis

Prérequis Matériaux pour l'Ingénieur, diagramme et transformation de phases

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

	Nb d'heures
Cours	19.50
Cours intégré (cours + TD)	
TD	
TP	
Projets	4
Travail en autonomie encadré	
Contrôles et soutenances	0.50
Travail personnel	

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

Bloc 1 : Présentation des matériaux céramiques, leurs particularités en terme de structures, microstructures, propriétés, formulation, consolidation, élaboration et mise en œuvre, disponibilité des ressources minérales et recyclage.

Bloc 2: Connaissance de base sur les structures et microstructures des verres et leurs influences sur les propriétés et procédés, ainsi que sur le recyclage de ces matériaux. La particulièrement grande diversité des applications sera également mise en évidence.

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

Bloc 1 : 9h30 de cours structurées en 4 modules présentant quelques animations et exercices (Wooclap possible, reprise des QCM antérieurs) sur les fondamentaux qui serviront également de bases aux modules sur les verres. Ces fondamentaux et les aspects spécifiques aux matériaux céramiques seront évalués par un QCM de 30 minutes.

Bloc 2 : cette partie est structuré en 4 modules qui se répartissent en 6h de cours (les principales notions sont données par le professeur – utilisation de Wooclap possible) et 4 H de classe inversée qui permettent une participation importante des élèves lors de cette dernière partie du cours effectuée en co-construction et conduisant à 5 (ce nombre peut varier en fonction du nombre total d'élèves) mini cours de 10 min chacun réalisés par les élèves. Une salle projet permettant la réalisation de ce travail pédagogique est prévues, des articles et livres sont mis à disposition des élèves en séance par le professeur.

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

Bloc 1: Evaluation : 30 min de qcm pour la partie Céramique  
 Bloc 2: Evaluation orale du mini cours de 10 min lors de la phase de restitution (/10) et évaluation écrite du support de présentation (/10)  
 En cas de dysfonctionnement avéré, la note du groupe peut être individualisée.  
 A ces modalités d'évaluation principales pourront être rajoutés d'autres exercices qui seront précisés le cas échéant au début du cours par l'enseignant.  
 La note finale est la moyenne des notes des 2 blocs.

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-2 Céramiques et verres</b>	<b>S8</b>

## Plan de cours

Organisation du module Matière 2 s'organise en 2 blocs de volume horaire équivalent (10H chacun) :

Bloc 1 : Matériaux céramiques et Bloc 2 : Les verres

Bloc 1:

Module 1 – Présentation de l'organisation et des méthodes pédagogiques mises en place pour les cours céramiques et verres

- Généralités et différentes structures des céramiques : Introduction et historique, céramiques silicatées, non silicatées à base d'oxydes, non oxydes.

Module 2 – Ressources minérales – formulation – consolidation : minéraux industriels, spécificités des poudres céramiques, formulation des pâtes et suspensions, rôles des additifs, traitements thermiques et consolidation, frittage.

Module 3 – Procédés de mise en œuvre et recyclage : procédés de mise en forme des pâtes, granules et suspensions, possibilité ou non de recyclage

Module 4 – Microstructures et propriétés : structures et microstructures, influence sur les propriétés optiques, thermiques, mécaniques (rupture).

Bloc 2:

Module 1 : Qu'est-ce que le verre ? : les systèmes vitrifiables et leurs structures (généralités et origines, ordre et désordre, verres de silice, vitrification, focus sur la structure des verres de silice, formateurs et modificateurs de réseaux).

Module 2 : Propriétés thermiques et mécaniques : Comme pour le module 3, aborder les principales propriétés comme la viscosité qui pourront être complétées dans la phase finale de classe inversée (T<sub>g</sub>, T<sub>f</sub>, masse volumique, dilatabilité, dureté, densification, viscosité, rupture et renforcement).

Module 3 : Propriétés chimiques, optiques et de transport : immiscibilité, durabilité et altération, propriétés de surface, transparence, réfraction et réflexion, diffusion, diélectrique, conductivité thermique.

Module 4 : Classe inversée : d'innombrables applications ! – Sur 5 thèmes précis relevant du domaine des verres : présentation de certains procédés de mise en œuvre et de mise en forme, mise en évidence des relations structures – propriétés – technologies verrières, développement durable.

3 objectifs sont visés :

- Moyen de découvrir la diversité des applications relevant du domaine des verres et les aspects de recyclage.
- Mettre en évidence et comprendre les liens entre la structure de ces matériaux, leurs propriétés et les procédés mis en œuvre dans ce domaine.
- S'approprier les notions vues dans les 3 premières séances en les replaçant dans un contexte appliqué.

## Ressources et références

Présentation PowerPoint et un polycopié pour chacun des 8 modules

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-3 Bétons</b>	<b>S8</b>

Contexte et enjeux de l'enseignement

Cet ECUE traite du béton, matériau de construction le plus utilisé au monde, en insistant sur l'intérêt de réduire son empreinte carbone au travers de l'éco-construction. Les bétons étudiés sont ceux couramment utilisés pour la structure (bétons de structures) et l'enveloppe (agro-bétons) des constructions. Le cours couvre : Chimie des matériaux cimentaires : mécanismes d'hydratation, paramètres, impacts sur le matériau durci, durabilité. Granulats et bétons : formulation, essais de caractérisation, propriétés à l'état frais (rhéologie) et durci (mécanique, transfert). Éco-bétons : formulation, ressources, rôle dans la régulation hygrothermique des bâtiments L'objectif est d'aborder la formulation des bétons à travers les constituants, la caractérisation des bétons et la normalisation.

Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD11 - Villes et communautés durables ODD13 - Lutte contre les changements climatiques

**Prérequis**

Prérequis Matériaux pour l'ingénieur

Modalités d'enseignement et d'évaluation

	Nb d'heures
Cours	15
Cours intégré (cours + TD)	
TD	4
TP	
Projets	
Travail en autonomie encadré	
Contrôles et soutenances	2
Travail personnel	6

Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

Connaitre les bases de la chimie du ciment, Connaître les grandes familles de bétons (dont les agro-bétons), leurs propriétés et leurs applications. Savoir formuler un béton de structure bas carbone

Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

15h de cours  
4h de TD encadrés pendant le cours

Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

La note comprend 1h de controle écrit (1/3) et un projet en binôme portant sur les parties 1 à 4 du cours et impliquant des heures de travail en autonomie (2/3)

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-3 Bétons</b>	<b>S8</b>

## Plan de cours

résumé Les bétons étudiés sont ceux couramment utilisés pour la structure (bétons de structures) et l'enveloppe (agro-bétons) des constructions. Le matériau béton est décrit comme un empilement granulaire dont les espaces intergranulaires sont remplis par une phase liante : la pâte de ciment durcie. Les mécanismes de durcissement (chimie du ciment) sont passés en revue. Une méthode de formulation basée sur l'optimisation des empilements granulaire est présentée. Fort de l'ensemble de ces connaissances une méthodologie pour formuler des bétons bas-carbone est proposée.

1. Les liants : composition, propriétés et spécificités, usages
2. Hydratation du ciment Portland, relation microstructure/ propriétés
3. Le béton : relation propriétés/ composition
4. La formulation du béton
5. Les agro-bétons

## Ressources et références

Les Présentations PowerPoint (incluant les énoncés des exercices)  
 Un fichier excel de calcul de formulation des bétons  
 Un accès aux normes via le centre de doc

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-4 Métaux et alliages</b>	<b>S8</b>

Contexte et enjeux de l'enseignement

Les matériaux métalliques sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels (construction, transport, énergie...). Les propriétés de ces matériaux dépendent fortement de la microstructure et donc de leur procédé de mise en œuvre. L’objectif du cours est (1) de comprendre les grands enjeux autour des matériaux métalliques (consommation, production, ressource, recyclage) et (2) de comprendre les microstructures obtenues à l’équilibre thermodynamique (diagrammes de phase) et hors équilibre (diagrammes TTT, TRC et traitements thermo-mécaniques).

Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD9 - Industrie, innovation et infrastructure

**Prérequis**

Matériaux pour l'ingénieur

Modalités d'enseignement et d'évaluation

	Nb d'heures
Cours	10
Cours intégré (cours + TD)	
TD	2
TP	
Projets	
Travail en autonomie encadré	
Contrôles et soutenances	2
Travail personnel	4

Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

Connaître les propriétés et applications des principales familles de métaux. Être capable de lire et interpréter un diagramme de phases et de transformation de phases dans l’optique de maîtriser un procédé de transformation d’un matériau métallique ou bien de comprendre l’histoire thermodynamique d’un matériau métallique.

Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

Méthode et organisation pédagogique :  
10h de cours (avec utilisation de Kahoot ou Wooclap pour tester ses connaissances) et 2h de TD en présentiel et 2h de contrôle.

Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

2h de contrôle écrit sans aucun document  
La correction des controles écrits des années précédentes est disponible  
La copie peut être consultée sur demande de l'étudiant



<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-4 Métaux et alliages</b>	<b>S8</b>

## Plan de cours

En introduction sont présentés les données concernant la production des matériaux métalliques, les enjeux des ressources et de l'approvisionnement en matière première à l'échelle européenne et mondiale. Puis, les microstructures des matériaux métalliques obtenues à l'équilibre thermodynamique (diagrammes de phase) sont présentées. Et les méthodes de durcissement de ces alliages et leurs transformations de phase sont décrites au travers des diagrammes de transformation et des traitements thermiques.

Programme et contenu :

1. Introduction (historique, contexte, consommation, recyclage)
2. Rappels (liaisons, structure) – Notions de solutions solides
3. Quels sont les propriétés intrinsèques aux métaux ?
4. Les alliages ferreux à l'équilibre thermodynamique (aciers et fontes)
5. Les traitements des métaux et alliages
6. Diagrammes de transformation (TTT, TRC, TCC)
7. Les alliages non ferreux

## Ressources et références

Présentation Power Point  
Fascicule des énoncés des exercices (TD)  
Contrôles corrigés des années précédentes

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-5 TP Métaux et bétons</b>	<b>S8</b>

## Contexte et enjeux de l'enseignement

TP Métaux Ce TP explore la relation entre microstructure, composition (taux de carbone) et traitement thermique (ex. : trempe) sur les propriétés mécaniques des aciers. Des aciers de différentes nuances et usages seront analysés pour comprendre ces interactions. TP Bétons Ce TP est divisé en deux parties (2h chacune) : Caractérisation thermique : Analyse des propriétés isolantes de bétons traditionnels et agro-bétons pour évaluer l'impact de la formulation. Étude de la consistance : Effet des adjuvants et du rapport eau/ciment sur la fluidité

## Prise en compte des dimensions socio-environnementales

ODD9 - Industrie, innovation et infrastructure

### Prérequis

cours de Diagramme et Transformation de phase, Métaux et alliages, et Bétons

## Modalités d'enseignement et d'évaluation

	Nb d'heures
Cours	
Cours intégré (cours + TD)	
TD	
TP	8
Projets	
Travail en autonomie encadré	
Contrôles et soutenances	
Travail personnel	4

## Objectifs pédagogiques

(à la fin de cet enseignement, l'étudiant sera capable de ...)

1. TP Métaux :
  - Mesurer les propriétés des principales familles d'aciers.
  - Être capable de lire et interpréter un diagramme de phases (en lien avec le cours) et de transformation de phases.
  - Faire le lien concret (par l'expérience) entre microstructure/composition/traitement thermique en vue d'obtenir une propriété désirée (mécanique dans le TP via la microdureté).
2. TP Bétons :
  - Fabrication d'une pâte de ciment adjuvantée ou non.
  - Méthode pratique d'évaluation de la rhéologie de la pâte de ciment.
  - Etudier l'influence de la formulation de bétons sur leurs propriétés thermiques et sur leurs usages

## Activités

(CM, TD, TP, projet, sortie terrain, etc. )

8h de TP (2x4h)

## Évaluations et retours faits aux élèves

(évaluations qui comptent pour la note ou qui permettent à l'étudiant de se situer, corrigés, feedback personnalisé...)

un compte-rendu de TP noté.

<b>ECOMAP_8_1 Matières métalliques et minérales</b>	<b>FIG</b>
<b>ECOMAP_8_1-5 TP Métaux et bétons</b>	<b>S8</b>

### Plan de cours

- TP Métaux :
- Observation microscopique des échantillons d’acier (notion de microstructure)
  - Mesures de propriétés mécaniques (microdureté Vickers)
  - Faire le lien entre microstructure et propriétés afin d'identifier les 9 échantillons
- TP Bétons :
- Consistance d’une pâte de ciment (2h)
  - Mesures de propriétés thermiques de bétons (Cp, conductivité thermique) (2h)

### Ressources et références

le fascicule d'énoncés de TP